

Пористые материалы и композиты для электроники: от диэлектриков к сегнетоэлектрикам

К.А. Воротилов, М.Р. Бакланов, А.С. Сигов

*МИРЭА- Российский технологический университет, 117454 Москва, Российская Федерация
e-mail: vorotilov@mirea.ru*

Методы молекулярной самосборки, индуцированные испарением (EISA), являются эффективным способом формирования нано- и мезопористых систем [1]. В данном методе для получения матричного материала используют растворы алкоксидов металлов, применяемые в золь-гель синтезе. Помимо этого, в исходную систему добавляют определенные поверхностно-активные вещества, которые при испарении растворителя формируют органическую фазу с тем или иным пространственным расположением, которая служит шаблоном (темплатом) для формирования матричного материала. Удаление органического шаблона обычно проводится путем его термодеструкции, в результате образуется пористый материал с той или иной пространственной конфигурацией пор.

В докладе рассмотрены методы формирования, свойства и применения в технологиях микро- и нанoeлектроники как пористых диэлектриков, так и сегнетоэлектрических материалов и композитов. Одним из перспективных направлений применения EISA-технологии является формирование пористых органосиликатных слоев, предназначенных для использования в качестве изолирующих диэлектриков с низкой диэлектрической проницаемостью (*low-k*) с целью снижения времени задержки сигнала в системах металлизации интегральных схем. Рассмотрены различные типы диэлектрических материалов с нанометровым размером пор и различной конфигурацией пористой структуры, сформированных методом молекулярной самосборки, предназначенных для использования в технологических процессах полупроводникового производства менее 5 нм. Матричный материал представляет из себя неорганически-органический гибрид, в котором наряду с кремний-кислородным каркасом присутствуют мостиковые органические группы для упрочнения каркаса и терминальные метильные группы для гидрофобизации поверхности пор [2].

EISA-технологии могут быть применены для формирования пористых пленок сегнетоэлектрических материалов. В докладе рассмотрены методы формирования пористых пленок PZT с использованием в качестве структурообразующих компонентов молекул поливинилпирролидона, обрывающих цепочки поликонденсационных связей с формированием пор, а также неионогенных поверхностно-активных веществ, образующих в растворе мицеллы, взаимодействие которых приводит к созданию органических шаблонов различной конфигурации [3]. Рассмотрены основные структурные характеристики, механизмы формирования и свойства формируемых пленок. Сформированная пористая сегнетоэлектрическая пленка в свою очередь может служить шаблоном для создания композитной структуры. Представлен пример успешной реализации подобной структуры с матрицей PZT и заполненными оксидом титана методом атомно-слоевого роста порами. Среди перспективных применений пористой керамики и композитов: пьезоэлектрические МЭМС, пьезоэлектрические детекторы, технологии памяти, газовые сенсоры и пр.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 19-29-03058, а также Министерства науки и высшего образования РФ (0706-2020-0022).

1. C. J. Brinker, *MRS Bulletin*, **29**, 631 (2004).
2. A. S. Vishnevskiy et al., *Materials*, **13**, 4484 (2020).
3. A.V. Atanova et al., *J Amer Cer Soc*, to be published (2021).